

ВЛИЯНИЕ РАСШИХТОВКИ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. Г. ВЭРЭШ, А. Д. НЕМЦЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Воздушный зазор в асинхронных двигателях является одним из важных параметров, влияющих на выходные характеристики ($M_{\text{д}}$, $M_{\text{м}}$, $I_{\text{к}}$, $\cos \varphi$ и к. п. д.) асинхронного двигателя. При теоретическом исследовании и расчете асинхронных двигателей обычно предполагают, что воздушный зазор между статором и ротором постоянен. Но уже при изготовлении электродвигателя возникает неравномерность зазора, вызванная зубчатостью статора, эксцентриситетом ротора относительно расточки статора и гребенчатостью пакета статора.

Гребенчатость или расшихтовка обусловлена отклонениями внутреннего диаметра листа статора в штампе D_3 и диаметра шихтовочного стакана D_1 (рис. 1), на котором шихтуются и скрепляются в пакет листы

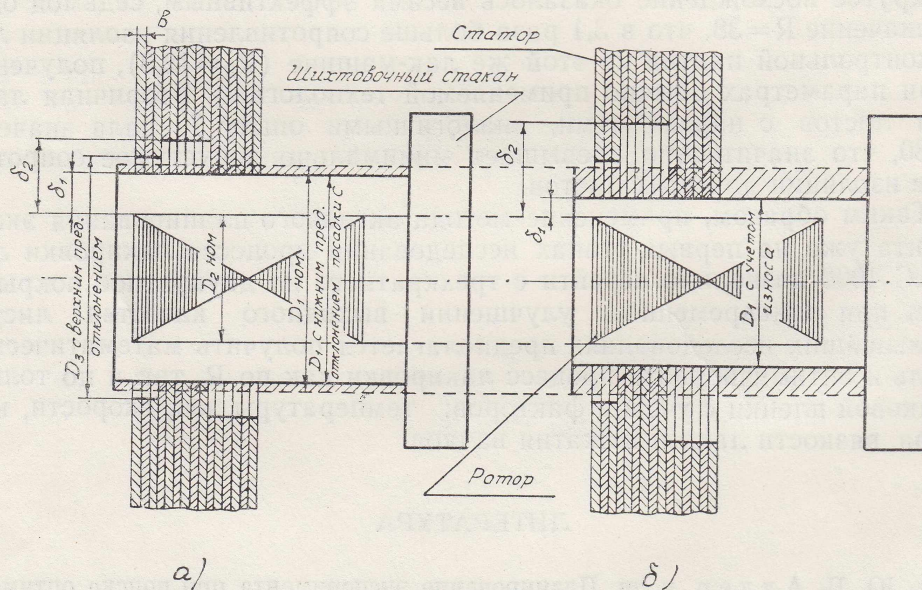


Рис. 1

статора. Величина воздушного зазора определяется промежуточным размером между D_1 и D_3 и наружным диаметром ротора — D_2 .

Имеется ряд работ [1—5], посвященных исследованию влияния неравномерности воздушного зазора на технические характеристики элек-

тродвигателей. Однако в большинстве своем исследователи учитывали изменение воздушного зазора только от зубчатости статора и эксцентриситета ротора относительно расточки статора.

Целью данной работы является определение влияния расшихтовки на выходные характеристики двигателей 3-го и 4-го габаритов серии АО2.

В работе [4] авторы получили аналитическое выражение для определения изменения воздушного зазора от расшихтовки

$$\frac{\delta_3}{\delta_n} = \frac{\lambda}{\ln(1 + \lambda)}, \quad (1)$$

где

$$\lambda = 2 \frac{D_3 - D_1}{D_1 - D_2}. \quad (2)$$

Выражение (1) справедливо при выполнении следующих условий [4]:

$$\frac{\delta_1}{b} = 0,1 \div 2 \text{ и } \frac{\delta_2}{b} = 0,2 \div 1,6, \quad (3)$$

где

δ_1 и δ_2 — размеры воздушного зазора между поверхностью ротора и возможными смещениями листов статора, вызванными технологическими допусками в шихтовочном стакане и листах статора;

$b=0,5$ мм — толщина электротехнической стали.

Для рассматриваемых двигателей была проведена проверка условий (3), результаты расчетов представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, условия (3) выполняются для всех двигателей. Поэтому можно использовать выражение (1). Пример расчета для определения влияния расшихтовки на воздушный зазор для двигателя АО2-32-2.

Схема а.

Из табл. 1

$$D_1 = 106_{-0,027}, D_2 = 105 \text{ мм}, D_3 = 106^{+0,060} \text{ мм}$$

$$\lambda = 2 \frac{D_3 - D_1}{D_1 - D_2} = 2 \frac{106,060 - 105,973}{105,973 - 105,0} = 0,178.$$

Относительное изменение воздушного зазора от расшихтовки

$$\frac{\delta_3}{\delta_n} = \frac{\lambda}{\ln(1 + \lambda)} = \frac{0,178}{\ln 1,178} = 1,09,$$

т. е. увеличение на 9%.

Схема б.

Из табл. 1

$$D_1 = 106_{-0,040}, D_2 = 105 \text{ мм}, D_3 = 106^{+0,060} \text{ мм}$$

$$\lambda = 2 \frac{106,060 - 105,960}{105,960 - 105,0} = 0,208,$$

$$\frac{\delta_3}{\delta_n} = \frac{0,208}{\ln 1,208} = 1,10,$$

т. е. увеличение на 10,0%.

Т а б л и ц а 1

Тип двигателя	D ₁ мм		D ₂ мм		D ₃ мм		Для схемы а				Для схемы б			
	Номиналь- ный размер	Предельное отклоне- ние	Номиналь- ный размер	Предельное отклоне- ние	Номиналь- ный размер	Предельное отклоне- ние	$\frac{\delta_1}{\text{мм}}$	$\frac{\delta_1}{\varnothing}$	$\frac{\delta_2}{\text{мм}}$	$\frac{\delta_2}{\varnothing}$	$\frac{\delta_1}{\text{мм}}$	$\frac{\delta_1}{\varnothing}$	$\frac{\delta_2}{\text{мм}}$	$\frac{\delta_2}{\varnothing}$
A02-31 (2)-2	106,0	—0,027 —0,040	105,0	±0,035	106,0	+0,08 +0,06	0,486	0,937	0,573	1,148	0,480	0,960	0,580	1,160
A02-31 (2)-4	112,0	—0,027 —0,040	111,4	±0,035	112,0	+0,08 +0,06	0,286	0,573	0,373	0,746	0,280	0,560	0,380	0,761
A02-31 (2)-6	122,0	—0,027 —0,040	121,4	±0,035	122,0	+0,08 +0,06	0,286	0,573	0,373	0,746	0,280	0,560	0,380	0,761
A02-41 (2)-2	123,0	—0,027 —0,045	121,8	±0,04	123,0	+0,08 +0,06	0,586	1,170	0,673	1,345	0,580	1,160	0,685	1,370
A02-41 (2)-4	133,0	—0,027 —0,045	132,3	±0,04	133,0	+0,08 +0,06	0,336	0,672	0,423	0,847	0,327	0,627	0,432	0,864
A02-41 (2)-6,8	144,0	—0,027 —0,045	143,3	±0,04	144,0	+0,08 +0,06	0,336	0,672	0,423	0,847	0,327	0,627	0,432	0,864

Результаты по расчету влияния расшиховки на изменение номинального воздушного зазора для 3-го и 4-го габаритов серии А02 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип двигателя	Увеличение эквивалентного воздушного зазора в %	
	для схемы а	для схемы б
А02-31 (2)-2	9,0	10,0
А02-31 (2)-4 (6)	15,0	17,0
А02-41 (2)-2	8,0	9,0
А02-41 (2)-4 (6, 8)	13,5	15,5

Для подтверждения достоверности полученных результатов был проведен эксперимент. Задача эксперимента заключалась в определении действительного сдвига листов пакета статора в радиальном направлении. Для этой цели пакеты статоров разрезались пополам по продольной оси и поверхность среза шлифовалась. Измерения проводились с помощью микроскопа. Результаты измерения представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Величина относительного сдвига, мм	Частота	
		3-габарит	4-габарит
1	0,025	123	142
2	0,050	63	194
3	0,075	12	42
4	0,100	1	20
5	0,125	1	4
6	0,150	—	2

Для этих данных по выражению

$$\bar{x} = \frac{\sum p_i \cdot x_i}{\sum p_i} \quad (4)$$

были рассчитаны средние значения сдвига листов для третьего \bar{x}_3 и четвертого \bar{x}_4 габаритов: $\bar{x}_3 = 0,0368$ мм; $\bar{x}_4 = 0,0476$ мм.

Если принять во внимание то, что воздушный зазор определяется разностью диаметров шихтовочного стакана и ротора, то полученные средние значения сдвига листов пакета статора свидетельствуют о том, что действительная величина воздушного зазора увеличивается в среднем на 0,0368 мм у двигателей третьего габарита и на 0,0476 мм у двигателей четвертого габарита, что составляет соответственно 12,2% и 13,6% для 4, 6 и 8-полюсных машин. Данные, полученные экспериментально, незначительно отличаются от расчетных, которые приведены в табл. 2.

Так как величина воздушного зазора значительно увеличивается за счет расшиховки, то количественное определение влияния расшиховки на выходные характеристики асинхронных двигателей представляет практический интерес. Это можно сделать с помощью коэффициентов влияния входных параметров на выходные [5]. Результаты расчета по определению влияния изменения воздушного зазора за счет расшиховки на выходные характеристики приведены в табл. 4.

Таблица 4

Тип двигателя	Изменение выходных характеристик асинхронного двигателя, %									
	Для схемы а					Для схемы б				
	M_n	M_m	I_R	к.п.д.	$\cos \varphi$	M_n	M_m	I_R	к.п.д.	$\cos \varphi$
A02-31-2	5,22	2,32	2,61	—0,081	—0,520	5,81	2,58	2,90	—0,090	—0,578
A02-31-4	8,48	3,88	4,23	—0,282	—1,750	9,60	4,40	4,80	—0,320	—1,980
A02-31-6	6,62	3,03	3,30	—0,593	—3,200	7,50	3,44	3,74	—0,672	—3,620
A02-32-2	5,87	2,63	2,94	—0,055	—0,370	6,52	2,92	3,26	—0,061	—0,412
A02-32-4	9,17	4,26	4,58	—0,206	—1,420	10,40	5,00	5,20	—0,233	—1,615
A02-32-6	7,30	3,40	3,64	—0,447	—2,790	8,27	3,86	4,13	—0,507	—3,160
A02-41-2	5,23	2,38	2,61	—0,046	—0,398	5,88	2,68	2,94	—0,052	—0,448
A02-41-4	8,30	3,73	4,15	—0,225	—1,010	9,50	4,28	4,75	—0,144	—1,155
A02-41-6	7,08	3,24	3,54	—0,408	—3,290	8,12	3,72	4,07	—0,468	—3,780
A02-41-8	8,07	3,74	4,03	—0,857	—5,860	9,28	4,29	4,63	—0,982	—6,730
A02-42-2	5,91	3,02	2,95	—0,029	—0,252	6,65	3,40	3,32	—0,032	—0,283
A02-42-4	8,92	4,08	4,47	—0,129	—1,570	10,20	4,68	5,13	—0,149	—1,805
A02-42-6	7,51	3,46	3,76	—0,360	—3,140	8,63	3,97	4,33	—0,414	—3,620
A02-42-8	8,32	3,88	4,16	—0,676	—5,130	9,55	4,45	4,77	—0,776	—5,900

Анализируя данные, представленные в табл. 4, видим, что увеличение воздушного зазора за счет расшихтовки приводит к значительным изменениям выходных характеристик и составляет 15÷90% от допусков на M_{Σ} , M_m , I_k , $\cos\phi$ и к.п.д., установленных ГОСТом 183-66. Поэтому увеличение воздушного зазора за счет расшихтовки необходимо учитывать при проведении электрического расчета асинхронных двигателей. Это позволит повысить точность расчета технических характеристик. Кроме того, знание величины, на которую увеличивается воздушный зазор за счет расшихтовки, позволит более обоснованно подойти к назначению допусков на технологическую оснастку (шихтовочный стакан и штампы для вырубki железа).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Костылев и др. Способы измерения неравномерности воздушного зазора в индукторном генераторе. «Электротехника», 1971, № 10.
2. А. П. Воскресенский. Влияние неравномерности воздушного зазора на характеристики асинхронного двигателя. «Вестник электропромышленности», 1957, № 5.
3. Н. А. Киклевич. Влияние неравномерности воздушного зазора на характеристики и эксплуатационную надежность асинхронных электродвигателей. «Электричество», 1949, № 12.
4. Ф. П. Давидян, А. А. Терзян. Магнитное поле зазора в продольном сечении электрических машин с учетом технологических отклонений. «Электричество», 1971, № 10.
5. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Обеспечение необходимой точности при производстве асинхронных двигателей. «Электротехника», 1966, № 7.